

Análise dos impactos e potencial de danos da composição e percolação do necrochorume no solo

Analysis of the impacts and damage potential of the composition and percolation of the effluent on the soil

DOI:10.34117/bjdv7n3-287

Recebimento dos originais: 12/02/2021

Aceitação para publicação: 12/03/2021

Tatiane Cristovam Ferreira

Mestranda em agronomia pela Faculdade de Ciências Agronômicas
Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Endereço: Av. Prof. Mário Rubens Guimarães Montenegro, s/n – UNESP – Campus de Botucatu – Botucatu/SP
E-mail: tatiane.cristovam@unesp.br

Alessandra Vieira da Silva

Mestranda em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agronômicas
Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Endereço: Av. Prof. Mário Rubens Guimarães Montenegro, s/n – UNESP – Campus de Botucatu – Botucatu/SP
E-mail: alessandra.v.silva@unesp.br

Letícia Benites Albano

Mestranda em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agronômicas
Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Endereço: Av. Prof. Mário Rubens Guimarães Montenegro, s/n – UNESP – Campus de Botucatu – Botucatu/SP
E-mail: leticia.albano@unesp.br

Laura Aline Pinto Nogueira

Mestranda em Geotecnia pela Faculdade de Engenharia de Bauru (Interunidades)
Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Endereço: Av. Três de Março, 511 – UNESP – Campus de Sorocaba - Sorocaba/SP
E-mail: l.nogueira@unesp.br

Fernanda Zanella Alves

Mestra em Tecnologia Ambiental pelo Instituto de Bragança
Instituição: Instituto Politécnico de Bragança - IPB
Endereço: Av. Dom Afonso V Bragança, s/n- Campus de Bragança. Bragança/Portugal
E-mail: Zanella.fernanda@gmail.com

Jonath Werissimo da Silva Gomes

Doutorando em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agronômicas
Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Endereço: Av. Prof. Mário Rubens Guimarães Montenegro, s/n – UNESP – Campus
de Botucatu –
Botucatu/SP
E-mail: jonath.werissimo@unesp.br

Michael Patrick Ferreira Althman

Mestrando em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agronômicas
Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Endereço: Av. Prof. Mário Rubens Guimarães Montenegro, s/n – UNESP – Campus
de Botucatu –
Botucatu/SP
E-mail: michael.althman@unesp.br

Alessandro Reinaldo Zabotto

Doutorando em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agronômicas
Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Endereço: Av. Prof. Mário Rubens Guimarães Montenegro, s/n – UNESP – Campus
de Botucatu –
Botucatu/SP
E-mail: alezabotto@gmail.com

RESUMO

O necrochorume é um líquido percolado de coloração laranja avermelhado até acinzentado, gerado a partir da decomposição dos corpos humanos, podendo apresentar substâncias potencialmente tóxicas dependendo da sua composição. Em termos físico-químicos, esse efluente é constituído por aproximadamente 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas e outros componentes químicos. A preocupação com este líquido se dá pelo transporte da alta carga de nutrientes e patógenos, que permeiam e contaminam os solos e corpos hídricos, além de disseminar diversas doenças como hepatite “A”, febre tifoide, paratifoide, poliomielite, escarlatina, gangrenas e viroses. Dependendo do tipo de solo e da solução contaminada, as reações químicas podem alterar a concentração de contaminantes por meio das formas de atenuação relevantes. Desta forma, o comportamento do contaminante depende não somente das suas propriedades físico-químicas, mas do meio em que está sendo percolado. A contaminação decorrente da percolação do necrochorume desencadeia o aumento da condutividade elétrica, pH, alcalinidade e dureza da solução do solo. Entender a composição do necrochorume é importante, para prever seu comportamento no solo e nas águas subterrâneas, não somente pela contaminação, mas pela interação que os seus constituintes têm em contato com solo e água e com outras substâncias que estão presentes no solo ou da percolação de outros resíduos, podendo tornar essas substâncias bem mais tóxicas e intensificar o potencial de contaminação.

Palavra-Chave: Transporte de Contaminantes, Solos Contaminados, Impacto Ambiental, Necrochorume.

ABSTRACT

Necrochorume is a percolated liquid of reddish orange to grayish color, generated from the decomposition of human bodies, and may present potentially toxic substances depending on its composition. In physical-chemical terms, this effluent is composed of approximately 60% water, 30% mineral salts, and 10% organic substances and other chemical components. The concern with this liquid is due to the high load of nutrients and pathogens, which permeate and contaminate the soil and water bodies, besides spreading several diseases such as hepatitis "A", typhoid fever, paratyphoid, poliomyelitis, scarlet fever, gangrene and viruses. Depending on the type of soil and the contaminated solution, chemical reactions can alter the concentration of contaminants through the relevant forms of attenuation. Thus, the behavior of the contaminant depends not only on its physicochemical properties, but on the medium in which it is percolating. The contamination resulting from the percolation of the slurry triggers an increase in the electrical conductivity, pH, alkalinity and hardness of the soil solution. Understanding the composition of the leachate is important to predict its behavior in the soil and groundwater, not only by contamination, but also by the interaction that its constituents have in contact with soil and water and with other substances that are present in the soil or from percolation of other waste, which can make these substances much more toxic and intensify the potential contamination.

Keyword: Contaminant Transport, Contaminated Soils, Environmental Impact, Necrochlorume.

1 INTRODUÇÃO

O necrochorume é um líquido percolado de coloração laranja avermelhado até acinzentado, viscoso, composto principalmente por água, sais minerais e substâncias orgânicas, gerado na decomposição de corpos. Tem um odor forte e alta carga de patógenos com características que expõem um alto risco à saúde pública e ao meio ambiente (ZANATO, 2016; NETO; JÚNIOR; SILVA, 2019).

O corpo humano, após a morte, passa por três processos: o destrutivo, o conservativo e a autólise. A autólise é iniciada logo após a morte, quando as células deixam de receber oxigênio e de trocar nutrientes e, passam a ser dissolvidas por enzimas do próprio corpo (HIGO, 2015).

No fenômeno destrutivo ocorre a putrefação, que é a decomposição dos tecidos e órgãos por bactérias, enzimas e pela macrofauna, no qual microorganismos realizam a dissolução gradual dos tecidos transformando em líquidos, sais e gases (NH_3 , H_2O , H_2S , CH_4 , CO_2 ,) (ALMEIDA; MACEDO, 2005). O odor característico é causado por esses gases e por uma pequena quantidade de mercaptana, substância que contém sulfeto de hidrogênio ligado ao carbono saturado. A decomposição do corpo pode

durar alguns meses e até vários anos, dependendo das condições ambientais (COSTA, 2015).

Em locais quentes e solos mais úmidos é comum o fenômeno de saponificação (conservativo), processo em que a quebra das gorduras corporais liberam ácidos graxos (triglicérides) presentes no tecido adiposo, que têm acidez e se unem aos minerais do organismo, tais como, cálcio e magnésio que inibe a ação das bactérias putrefativas, atrasando a decomposição. (HINO, 2015; CAMPOS, 2007). Esses processos advêm normalmente das atividades cemiteriais, promovendo a contaminação sutil e constante que tende a difundir pelo entorno do local de sepultamento (AMORIM; CRUZ, 2014).

Na decomposição são liberadas diferentes fontes de contaminantes nos corpos hídricos e no solo, além de ser um potencial vetor de doenças para população que vive no entorno dessas necrópoles, pela exposição às rotas ou ao fluxo de contaminação específica em diferentes vias de contaminação (SANTOS; MORAES; NASCIMENTO, 2015).

Os solos de cemitérios quando comparado às áreas fora da necrópole apresentam concentrações elevadas de óxidos metálicos (Cr, Cu, Pb, Ni e Xn), atrelado as praticas funerárias atuais, que empregam Pb, Cu e Zn largamente na fabricação de urnas funerária, podendo acumular nas profundidades de sepultamento (SPONGBERG E BECKS, 2000). Além de que, a percolação da água da chuva através das tumbas e do solo favorece a migração de uma série de produtos químicos inorgânicos e orgânicos através da zona insaturada, e alguns desses compostos podem atingir a zona saturada, poluindo o aquífero, o que torna os cemitérios localizados nos centros urbanos um grande problema para proteção dos solos e das águas subterrâneas, devido à lixiviação destes compostos (CARDOSO, 2018; KEMERICH, 2012).

Nos últimos anos os cemitérios emergiram como fonte significativa de contaminação procedente da poluição antropogênica em escala global, contribuindo com poluente físico, químico e biológico para o meio ambiente (NOGUEIRA et al., 2013; NECKEL et al., 2016, 2017). Portanto, o monitoramento das águas subterrâneas nas proximidades dos cemitérios é de extrema importância para estudos ambientais (KEMERICH, 2012). Ressalta-se ainda, que conhecer a constituição do necrochorume é importante para entender e prever o comportamento no solo e na água, visto que não somente os microorganismos patogênicos apresentam riscos para o ser humano, como também a disponibilização de compostos atípicos liberados na percolação (WHO, 1998).

Diante dessa problemática, investigar e entender a mobilidade deste contaminante no solo é imprescindível para compreender o seu comportamento ao lixiviar. Desta maneira, é necessário analisar não apenas o líquido, mas também o tipo de solo onde foi construído o cemitério (CARNEIRO, 2011).

2 CONTEXTUALIZAÇÃO: ANÁLISE E TRANSPORTE DO NECROCHORUME

“Durante o processo de putrefação, além dos microrganismos degradadores, proliferam também agentes infecciosos, quando a morte ocorre por moléstia ou epidemia” (PACHECO et al., 1993). No caso de pessoas que morreram com doenças infectocontagiosas, podem estar presente no necrochorume os microrganismos patogênicos responsáveis pelo óbito, bactérias e vírus transmissores de doenças como febre tifoide, paratifoide, hepatite A, tétano e gangrena gasosa. Para os corpos que passaram por tratamento com emissão de radiação, podem estar contaminados, liberando radioatividade para solo (CARDOSO, 2018).

Na década de 70, em Berlim e Paris, epidemias como a febre tifoide foram diretamente ligadas à posição a jusante de fontes de água, com aquíferos freáticos e nascentes dos cemitérios (SILVA, 2008). Com isso, o necrochorume pode transportar além dos microorganismos oriundos do corpo, restos ou resíduos de tratamento químicos hospitalares e compostos provenientes da degradação da matéria orgânica (SILVA; FILHO, 2019).

O necrochorume contém cerca de 60% de água, 30% de substâncias mineralizadas e 10% de substâncias orgânicas e seu pH varia de 5 a 9 e temperaturas entre 23 a 28 °C. Durante a degradação desses compostos o corpo pode produzir diaminas como a cadaverina ($C_5H_{14}N_2$) e a putrescina ($C_4H_{12}N_2$), que posteriormente serão degradadas liberando NH_4^+ , substância tóxica em altas concentrações (BORTOLASSI, 201; FILHO, et al., 2018).

Dentre esses 10% de substâncias orgânicas, encontra-se a carga de patógenos de elementos biodegradáveis, destacando a cadaverina e a putrescina, que são venenosos e solúveis em água, sendo os maiores responsáveis pela contaminação de lençóis freáticos, devido às águas infiltradas da chuva, águas superficiais e até mesmo águas subterrâneas que em contato com o cadáver, carregam o necrochorume (LANG, 2008).

Quando está no interior do aquífero pode ser dissolvido e carregado no sentido do fluxo ou ser depositado em sua camada inferior impermeável. Embora tenha uma

densidade superior a da água ($1,23 \text{ g/cm}^3$), a relação entre o volume não é tão alta ao ponto de favorecer a infiltração pelo solo (ZANATO, 2016). Devido essas propriedades, e a depender das condições climáticas e do tipo de solo, parte do contaminante pode ser transportado no sentido do fluxo da água, aumentando a área de infiltração do solo e atingindo os mananciais (CARNEIRO, 2011).

A depender das características de viscosidade e densidade em relação à água, formam-se plumas de contaminação que podem se disseminar pelo solo saturado, com velocidade variável, atingindo distâncias significativas a partir da origem (SILVA, 2000).

De acordo com Pacheco (2000), pouco se sabe sobre a migração do necrochorume no meio físico. Não se conhece literatura geológica e hidrogeológica que descreva o processo, porém, sabe-se que na zona não saturada do solo a infiltração é feita pela ação da gravidade. O nível elevado dos compostos que podem ser lixiviados no lençol freático pode ser relacionado com a toxicidade química do necrochorume (FINEZA, 2008).

A putrescina é uma substância produzida pela composição cadavérica e tem grande importância nos processos fisiológicos. É uma molécula do tipo poliamina, necessária para espermidina e espermina (PERREIRA, 2017).

A partir de testes realizados com putrescina marcada com carbono 14, foi observado que o tempo necessário para absorção via gastrointestinal, na corrente sanguínea após a disseminação generalizada, é de apenas 30 minutos. A rápida absorção estimula o aumento de enzimas que transformam a putrescina em outras poliaminas (BARDOCZ et al., 1995; SEILER; RAUL, 2007).

A cadaverina é uma amina biogênica oriunda da descarboxilação do aminoácido lisina encontrada na matéria orgânica. Está presente no processo de crescimento e desenvolvimento (em concentrações fisiológicas) de diversos organismos vivos, entretanto, quando encontrados em níveis anormais, pode-se relacionar com o aparecimento de doenças, além de formarem um grupo de alta biotoxicidade (HARA, 2016).

Devido a suas propriedades (Tabela 1) a cadaverina e putrescina são nocivas, e dependendo da geologia do local, podem se proliferar em um raio superior a 400 metros de distância do cemitério (LOPES, 2000).

A ingestão de produtos que tenha em sua composição uma grande quantidade destas aminas, pode promover quadros toxicológicos graves sendo mais severos em

peças cuja atividade das enzimas mono e diamina, que são responsáveis pela desintoxicação do organismo, estejam reduzidas (GOMES et al., 2014).

Tabela 1: Propriedades da cadaverina e putrescina.

Propriedade	Cadaverina (C ₅ H ₁₄ N ₂)	Putrescina (C ₄ H ₁₂ N ₂)
Massa Molecular	102,18	88,15
Densidade	0,873 g/cm ³	0,877 g/cm ³
Ponto de fusão	26 - 28 °C	27 - 28 °C
Ponto de Ebulição	178 - 180 °C	158 - 160 °C
N ²⁰ _D Índice de refração	1,4582	1,4569
Solubilidade em água (23 - 28°)	Elevada	Elevada
Toxicidade	Elevada	Elevada
Coloração	Pardacenta	Pardacenta
Odor	Corossivo	Corrosivo

Fonte: Fineza (2008, p.18). N° índice de refração; D- comprimento de onda, 20- temperatura referencia.

Além dessas substâncias o necrochorume contém, sobretudo, nitrogênio (1.800g), carbono (1.6000 g), cálcio (110 g), fosforo (500 g), enxofre (140 g) potássio, (140 g), sódio (100 g), cloreto (95 g), magnésio (19 g), ferro (4,2g) e 65% do peso de água (ÜÇISIK; RUSHBROOK, 1998; RAGONI, 2014).

A relação entre o peso do corpo e o volume de necrochorume produzido é 0,60 L/Kg (CARNEIRO, 2008). Sendo assim, cada corpo de um adulto com um peso de aproximadamente 70 Kg sofre decomposição e pode liberar em torno de 30 a 40 litros de necrochorume (CAMPOS, 2007). Quando lixiviado, gera um grande fluxo no solo, ao redor do cadáver, como observado em pesquisas realizadas com carcaça suína, cerca de 70 kg causou um acréscimo de aproximadamente 300 µg de K⁺, 50 µg Ca²⁺, 10 µg de Mg e 110 µg de nitrogênio inorgânico por grama de solo (TIBBET; CARTER, 2008).

A toxicidade química do necrochorume quando nos mananciais subterrâneos relaciona-se principalmente aos teores excedentes de compostos das cadeias do fósforo e do nitrogênio, metais pesados e aminas (ROMANO, 2001; FINEZA, 2008). Dente (2004) identificou vários íons de nitrogênio (30,6%) na zona insaturada em águas subterrâneas do cemitério.

De acordo com o tipo de solo, o necrochorume pode decompor-se e reduzir a substâncias mais simples e inofensivas, o que também vai depender da capacidade de autodepuração do solo e do teor de argila ativa, exercendo uma filtração lenta dos percolados associados à oxidação (SILVA, 2000).

A análise do pH do solo é uma das condições para compreender suas características. Os baixos níveis de pH podem indicar a capacidade de condução de poluentes que têm elevadas concentrações de metais (FORNASIER et al., 2018; BARGRIZAN et al., 2018). Esse é um dos parâmetros mais importantes a ser considerado, porque podem influenciar desde o desenvolvimento das plantas ao transporte de contaminantes. Desta forma, o comportamento do necrochorume depende não somente de suas propriedades físico-químicas, mas do local em que está sendo depositado (CARNEIRO, 2011).

A textura do solo interfere diretamente no processo de contaminação do meio. Solos arenosos e constituídos de granulação grossa e área superficial menor, o que significa que não apresentam capacidade de reter os contaminantes. Por outro lado, o solo mais argiloso possui granulação bem menor, que aumenta sua área superficial, permitindo que as moléculas do contaminante fiquem retidas (CARNEIRO, 2008).

Durante o processo de depuração do necrochorume, o local de enterro do corpo também vai influenciar. No caso de terreno argiloso, fluxo elevado e contínuo de água, maior será o tempo de depuração. Contudo, se o necrochorume após liberado permanecer isolado, ocorrerá à polimerização, resultando em uma substância insolúvel e inerte (FRASCISCO et al., 2017). Os cadáveres depositados em locais acima de aquíferos, o necrochorume tende a atingir as águas subterrâneas (MARTINS, 2009).

Do mesmo modo, as condições de precipitação vão influenciar no transporte de muitos compostos químicos (orgânicos e inorgânicos) para o solo decorrente da infiltração das águas da chuva. Através dos túmulos e dependendo das características geológicas do terreno, esses compostos podem atingir o aquífero (KEMERICH & BORBA, 2013).

Na zona saturada do solo existe a presença de sulfatos, cloretos, íons de sódio, magnésio, estrôncio e fósforo (ZYCHOWSKI, 2012). As forças de interação e a predominância de uma reação sobre outra é controlada pelos constituintes específicos do solo. Desta forma, a interação solo, necrochorume e as reações físicas-químicas envolvidas durante a percolação, podem reduzir a concentração da carga do contaminante durante o transporte através do solo (PEREIRA, 2018).

Dependendo do tipo de solo e da solução contaminada, as reações químicas podem alterar a concentração de contaminantes por meio das formas de atenuação. As principais formas de atenuação, ou seja, de retenção dos poluentes no subsolo ocorrem por processos físicos (dispersão, filtração, separação gravimétrica), químicos

(adsorção, absorção, reação oxirredução e hidrólise) e biológicos (biodegradação, aeróbico e anaeróbico) (TRESSOLDI, 2002).

A adsorção é um processo físico que envolve a fixação de moléculas a uma matriz sólida, pela atração entre íons e as cargas elétricas desta matriz (THOMMES, 2015). É o principal mecanismo de retenção de metais em solução, porém não tem tanta importância na retenção de substâncias orgânicas (SILVA, 2004).

A retenção de microrganismos e substâncias indesejáveis relacionadas à capacidade de troca catiônica do solo argiloso, minerais do solo e tempo de residência do percolado vai depender da condutividade elétrica, composição mineralógica, capacidade de troca catiônica, granulometria, umidade, permeabilidade, nutrientes e condições de aeração. (PACHECO, 2000).

3 PROCESSO DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO

Segundo Mattos (2001), a contaminação oriunda da percolação do necrochorume desencadeia o aumento da condutividade elétrica, pH, alcalinidade e dureza da solução do solo, derivado da presença de compostos de nitrogênio e fósforo e de diversos sais (Cl^- , HCO_3^- , Ca^{+2} , Na^+). Ocorre também a presença de óxidos metálicos (Ti, Cr, Cd, Pb, Fe, Mn, Ni,) lixiviados dos adereços das urnas mortuárias e de patógenos associados a mortes por doença infectocontagiosa (SILVA; FILHO, 2009).

Em estudos realizados com eletromagnetismo no cemitério de *Botany* na Austrália, a condutividade elétrica aparente se mostrou bem maior, juntamente com aumento de sais minerais nas águas subterrâneas próximas as áreas de sepultamento (MENDES et al., 1989).

A condutividade hidráulica em solos saturados é substancialmente maior que em solos não saturados, pois o excesso de água nos poros faz com que a água flua. Em meios não saturados, a condutividade hidráulica varia com a umidade do solo e com o potencial matricial no ponto considerado. (CARVALHO, 2002). Assim, o grau de saturação é um fator relevante que deve ser considerado nos resultados de valores de condutividade hidráulica.

Solos com característica arenosa nas camadas superficiais do cemitério, os líquidos provenientes da decomposição dos corpos fluem com facilidade, entretanto, nas camadas mais profundas, os sedimentos apresentam condições físicas e químicas diferentes, como textura argilosa e baixa condutividade hidráulica, que são

desfavoráveis para percolação do necrochorume, embora isso facilite o fenômeno de saponificação dos cadáveres (SILVA; FILHO, 2009).

A condutividade hidráulica do material geológico de cemitérios deve ser entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s. Nessas áreas a espessura da zona não saturada e o tipo de material geológico são fatores determinantes para filtragem dos líquidos resultantes da decomposição de cadáveres (BRASIL, 2006). Solos com baixa condutividade hidráulica são favoráveis na retenção de contaminantes, mas faz com que o lençol freático se aproxime da superfície rapidamente, entrando diretamente em contato com as sepulturas ou camadas contaminadas do solo (HINO, 2015).

As propriedades físicas e químicas como pH, acidez potencial (H+Al), teores de alumínio (AL^{3+}), carbono orgânico (CO), potássio (K), fósforo (P), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e a textura do solo proporcionam capacidade de depuração natural dos contaminantes (PACHECO, 2000).

De acordo com Campos (2007) pode ocorrer a relação inversa da capacidade de retenção com a permeabilidade do solo, ou seja, a capacidade de retenção de microrganismos é mais eficiente em solos argilosos (menos permeáveis) do que em solos arenosos e cascalhos (mais permeáveis). Logo, em casos de solos com interstícios, fraturas e canais de dissolução, esses podem ter maior vulnerabilidade à contaminação (PACHECO, 2000).

A zona não saturada do solo é a faixa mais importante na defesa contra o transporte dos produtos da decomposição aos aquíferos, funcionando como um filtro absorvente que pode reduzir as concentrações de alguns microrganismos e elementos da decomposição, pois aumenta a capacidade de atenuação e infiltração. Nessa zona, os poluentes fecais são degradados a compostos inócuos (CAMPOS, 2007).

O ideal é que a mobilidade do soluto seja inversamente proporcional a capacidade de absorção dos microrganismos. Para que as condições de drenagem do necrochorume e os processos de decomposição aeróbica sejam favorecidos, o solo precisa ter entre 20% a 40 % de argila (SILVA; FILHO, 2008).

De maneira geral, o contaminante no momento em que entra em contato com solo, sofre algumas reações que podem reter, permitir que passe livremente ou até mesmo atenuar o seu teor em meio sólido. Assim sendo, o comportamento do contaminante irá depender do meio que está sendo induzido e suas propriedades físicas e químicas. Portanto, destaca-se a importância de investigar o movimento do contaminante no solo antes da construção do cemitério (CARNEIRO, 2008). A

precipitação auxilia na percolação e infiltração do necrochorume no solo até atingir o aquífero, já que com chuva, a carga hidráulica sobre o solo é maior, aumentando a velocidade de infiltração. Quanto mais rápido o contaminante permear o solo, menor será o tempo para ele ser degradado e adsorvido (ZANATTO, 2016).

A mobilidade do poluente no solo é medida por meio da condutividade hidráulica do mesmo, ou seja, a mobilidade do soluto depende do peso molecular e densidade do poluente que significa velocidade de infiltração em solo saturado (CARNEIRO, 2008). A maioria dos sepultamentos ocorre normalmente entre 1,5 e 1,8 metro de profundidade, o que torna importante observar a qualidade e o teor de argila presente nas camadas do solo (LEITE, 2009).

Naturalmente, a condição do solo em reter substâncias é limitada se a fonte de contaminação for contínua, diminuindo a taxa de retenção com o tempo, chegando a se anular. Assim, neste ponto, podemos dizer que o solo atingiu sua capacidade de retenção (FERREIRA, 2010). A quantidade da substância que permanece dissolvida na água aumenta à medida que a quantidade acumulada no solo se aproxima da sua capacidade de retenção (YONG; MOHAMED; WARKENTIN, 1992).

A capacidade de retenção do soluto no solo vai depender do fluxo que a massa alcança e das interações da fase sólida e líquida na percolação. Quando este fator é menor ou igual a 1, mostra que no solo existe competição iônica, que causa a dessorção de cátions (MATOS; GARIGLIO ;MONACO, 2013). Ou seja, o fator de atenuação é a razão entre a velocidade do fluido percolante e a velocidade da frente de contaminação, podendo ser obtido através de ensaios de coluna (CARVALHO, 2019).

A atenuação do contaminante no solo é um parâmetro importante em áreas de disposição de resíduos, a depender desta capacidade ser menor ou maior que vai determinar os processos construtivos e ocupacionais desse solo (ALMEIDA, 2009). O comportamento do soluto no solo também pode ser medido por meio do coeficiente de difusão aparente ou coeficiente de dispersão hidrodinâmica longitudinal, que representa o efeito combinado da dispersão mecânica e da difusão iônica (NIELSEN et al. 1986). A dispersão mecânica é um movimento proporcionado por alterações na velocidade de deslocamento da solução, através dos poros individuais e entre poros de diferente tamanhos, formas e direções (NIELSEN et al. 1986).

A advecção também é um parâmetro utilizado para compreensão do transporte de solutos no solo. Ocorre quando as partículas do soluto são transportadas através de um fluido em movimento, onde esses elementos se movem na direção das linhas de

fluxo com a mesma velocidade do fluido percolante, sem alterar a concentração na solução (SILVA, 2004). Quando esse fluido percola em meio poroso como o solo, é chamado de transporte advectivo. Neste caso, parte do volume por onde o fluido permeia está ocupado por sólidos, sendo o fenômeno que ocorre predominantemente em meios descontínuos de alta permeabilidade com areias, argila e fissuradas e rochas fraturadas (QUEIROZ, 2003).

Os íons de nitrato, potássio e sódio são os solutos de maior presença no necrochorume, e os metais pesados zinco e chumbo. O nitrogênio se encontra na forma de ânion (NO_3^-) e cátion (NH_4^+). A forma mais encontrada é o NO_3^- (nitrato) que possui maior tendência de ser lixiviado. Entretanto, o nitrogênio encontrado no solo, cerca de 90% está em sua forma orgânica (SENGIK, 2003)

A presença de amônia e nitrogênio orgânico está associada à presença de poluição recente, enquanto a presença de nitrato significa poluição mais remota. As formas oxidadas de nitrogênio e a amônia livre são utilizadas como parâmetros para avaliar a qualidade das águas superficiais principalmente por ser tóxica à vida aquática (FINEZA, 2008).

Em zonas de autodepuração do corpo hídrico, o nitrogênio orgânico é encontrado principalmente na zona de degradação, que seria a região de contaminação recente, enquanto o nitrogênio amoniacal na zona de decomposição ativa; o nitrito, na zona de recuperação; e o nitrato, em locais considerados menos contaminados (CETESB, 1999).

O nitrato é tóxico, e pode apresentar risco para saúde humana, desencadeado doenças como a metahemoglobinemia infantil, letal para crianças; o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul (ANA, 2011). Tem alta mobilidade tanto em solos saturados quanto insaturados, por ser solúvel em água, não se ligar a partículas do solo e apresentar carga negativa (NO_3^-), tornou-se um dos principais poluentes das águas subterrâneas (LIBANO, 2008).

Estudando a hidroquímica da área do cemitério Vila Formosa em São Paulo, Migliorini et al. (1994) constataram que a presença do cemitério contribui para o aumento na concentração de produtos nitrogenados e de íons nas águas subterrâneas do local. Além dos produtos gerados nas decomposições de corpos, a decomposição do caixão agrava o fator de risco, que provocam aumento na quantidade de sais minerais crescendo a condutividade elétrica destas águas, e aparentemente a

concentração dos íons bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio, e dos metais; ferro, alumínio, chumbo, zinco dentre outros (MATOS, 2001).

Em um estudo realizado em um cemitério em Ohio, Estados Unidos, foram identificados contaminantes de produtos químicos nocivos derivados de práticas funerárias, como arsênio e mercúrio; formaldeído; vernizes, selantes e conservantes utilizados em caixões de madeira; cobre chumbo, zinco, e aço de caixões de metal, alguns acumulados nas profundidades do cemitério (SPONGBERG; BECKS 2000). Diante disso, entender a composição do necrochorume é essencial para prever o comportamento no solo e na água subterrânea. No entanto, não somente pela contaminação, mas pela interação que os seus constituintes tem em contato com solo e água e com outras substâncias que estão presentes no ambiente oriundos da percolação de outros resíduos, podendo tornar essas substâncias bem mais tóxicas e intensificar o potencial de contaminação.

Algumas pesquisas constataram que existe a atenuação do necrochorume na camada vadosa do solo, visto que, nesta camada existe ar no solo, e com isso, há maior concentração de microrganismos aeróbicos que degradam o necrochorume com maior eficiência do que em condições anaeróbicas (WHO, 1998). Assim, é aconselhável que o solo acima do caixão não seja compactado no reaterro para que haja maior aeração do corpo. Por outro lado, a aeração libera gases tóxicos e extremamente mal cheirosos para atmosfera (CARNEIRO, 2008).

4 BENEFÍCIO DO USO ADEQUADO DE MÉTODOS DISPONÍVEIS PARA MITIGAÇÃO DO IMPACTO

Para tentar reduzir os impactos gerados pela ação do necrochorume no solo, algumas medidas estão sendo aplicadas, entre elas as mantas protetoras, uma espécie de camada absorvente que envolve o interior da urna funerária. A manta é composta por um material a base de um polímero impermeável que suporte temperatura entre - 30 °C a 115 °C e possui durabilidade de aproximadamente 150 a 250 anos.

A película é aplicada de maneira ajustável dentro dos caixões pelas empresas funerárias, e depois de encaixada não demonstra alteração visual na urna podendo o corpo ser velado normalmente (INVOL, 2018).

A utilização da manta protetora apresenta como principal benefício a retenção do necrochorume no processo de decomposição, evitando que o mesmo percole para fora do caixão. Além disso, a manta conta com uma espécie de corda de náilon que

quando puxada se torna um saco com os restos mortais, evitando o contato direto entre o corpo e o coveiro (INVOL, 2018). Como o necrochorume é um efluente que pode contribuir para a disseminação de algumas doenças, citadas anteriormente, maneiras preventivas como são importantíssimas minimizando os impactos ao meio ambiente e a saúde pública (CARNEIRO, 2009).

Outra medida utilizada para amenizar os impactos ambientais causados pelo necrochorume é o uso de filtros biológicos. Esses filtros são instalados na fase de construção do cemitério com o objetivo de não deixar que o necrochorume contamine o solo e as águas subterrâneas. Os líquidos são drenados e conduzidos para filtragem, que é realizada por pedras e areias de tamanhos e texturas variáveis. Após esse tratamento, o líquido toma uma aparência mais clara, devido a retirada da maioria dos componentes que dão cor ao necrochorume (FRANCISCO; SILVA; SOUZA, 2017).

De maneira geral, o filtro biológico busca a eficiência no tratamento do necrochorume como uma forma de prevenção da contaminação, no entanto, esse método é habilitado nas etapas de construção do cemitério, sendo de difícil adequação após o início dos sepultamentos e nos necrópoles já existentes nos municípios.

Contudo, as diretrizes do CONAMA 368/2006 estabelecem como obrigatoriedade soluções para o tratamento de necrochorume. O primeiro cemitério parque ecologicamente correto do Brasil foi inaugurado em 1996 na cidade de Curitiba que, em 2000, foi certificado pela ISO 14000 de qualidade ambiental pelo sistema de Gestão Ambiental, que contém a tecnologia citada (PINHEIRO, 2018).

A utilização de pastilhas microbiológicas é outra forma de tratamento do necrochorume, que funcionam como consumidoras de matéria orgânica. As bactérias são colocadas em pastilhas que são inseridas na urna funerária e, quando o corpo humano começa com o processo de decomposição, as bactérias são ativadas e consomem os compostos orgânicos, tais como graxas e lipídios, podendo consumir também substâncias mais complexas, degradando estes compostos a sais minerais, dióxido de carbono e água (JALOWITZKI, 2011).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O necrochorume é um poluente com alto potencial de contaminação podendo atingir os compartimentos do solo e da água em áreas urbanas, e sendo sua principal fonte de contaminação os cemitérios, que estão em sua grande maioria localizados em áreas urbanizadas. Assim, o transporte do necrochorume no solo e sua interação com

as demais substâncias necessitam serem estudadas, para que seja possível entender os processos e buscar medidas para atenuar e prevenir os danos futuros dessa contaminação.

Pela heterogeneidade da composição química e ausência de estudos que explorem o seu comportamento nos compartimentos ambientais, são necessários analisar os parâmetros físicos, químicos e biológicos, de forma correlacionada, para que seja possível entender sua dinâmica no meio e buscar alternativas para remediação de áreas contaminadas, atenuação e prevenção.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A.S.de., CRUZ, C.F. Avaliação da contaminação de lençóis freáticos por necrochorume – Cachoeira-Bahia/Brasil. Revista Científico. v. 14, n. 127, p. 107-120, 2014.

ANTONIO, A. S. da., PAULA, A. da. R.U., AGUIAR, A.T.C., COSTA, L.C.A.da., KEPPLER, R.L.F., BENTES, K.R.de.S, WIEDEMANN, L.SM., Avaliação de Características Químicas do Solo Durante a Decomposição Cadavérica e suas Aplicações à Química Forense. Revista Virtual de Química, v.10, n.3, 2018.

ALMEIDA, T.L. de. Implicações ambientais dos processos de atenuação de lixiviados em locais de disposição de resíduos sólidos urbanos. São Carlos. p. 175.2009.Tese (Doutorado Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos,.

BARDÓCZ, S., DUGUID, T.J., BROWN, D.S., GRANT, G., PUSZTAI, A., White, A., Ralph, A., 1995. The importance of dietary polyamines in cell regeneration and growth. British Journal of Nutrition. 73, 819– 28.

BORTOLASSI, C. C. Cemitérios: Fontes Potencialmente Poluidoras. Universidade de passo fundo. Passo Fundo, p. 82. 2012.

BRAGA, A. C. O. Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em Hidrogeologia. São Paulo, 2016. 159 p.

CAMPOS, A. P. S. Avaliação do potencial de poluição no solo e nas água subterrâneas decorrente da atividade cemiterial. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Publica. 2007. 141p.Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, Viçosa, MG, 2002.

CARDOSO, A.C.D. Avaliação da Aptidão de terras para Necrópoles. Seropédica, 2018. 26p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal)- Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CARNEIRO, V. Impacto causado por necrochorume de cemitérios: meio ambiente e saúde pública. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal, RN, 2008, p. 1-18.

CARVALHO, L. A. Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo. Piracicaba, 2002. 86p. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

CARVALHO, L.A.de. P. F. B.: Aspectos da mobilidade e da mitigação dos impactos. Juiz de Fora, 2019.39p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária)- Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). (1999) Implantação de Cemitérios: Norma Técnica L1. 040. São Paulo: CETESB.

COSTA, C.N. Sistema de armazenamento do corpo pós-morte e reciclagem do necrochorume. Pernambuco, 2015. 97p. Monografia (Bacharelado em Design de produto)- Universidade Federal da Paraíba Centro de Ciências aplicadas e educação Departamento de Design.

EMERICH, P. D. C.; BORBA, W. F.; SILVA, R. F.; BARROS, G.; GERHARDT, A. E.; FLORES, C. E. B. Valores Anômalos de Metais Pesados em solo de Cemitério. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 140-156, 2012

FERREIRA, M.B. Estudo Paramétrico dos Transportes e remediação de HPA em solo com programa Modflow. Rio de Janeiro, 2010.122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FINEZA, A. G. Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios: estudo de caso de Tabuleiro - MG. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 63. 2008.

FORNASIER, E.; FORNASIER, F.; DI MARCO, V.; Spectrophotometric methods for the measurement of soil pH: A reappraisal. Spectrochimica Acta Part A: Molecular

Francisco, A. M.; Silva, A. K. G.; Souza, C. S.; Santos, F. C. S. Tratamento do necrochorume em cemitérios. Atas de Saúde Ambiental (São Paulo, online), v. 5, p. 172-188, 2017

GOMES, M.B.,PIRES, B.A.D.P., FRACALANZZA., S.A.P.,MARIN, V.A. The risk of biogenic amines in food. Ciência & Saúde Coletiva, v.19, n.4, p.1123-1134, 2014

HINO, T. M. O necrochorume e a gestão ambiental dos cemitérios. Revista on-line IPOG. Especialize, Goiânia, nº 10, v. 01dez. 2015

HARA, R. V. Avaliação dos efeitos citogenotóxicos da diamina cadaverina, presente no necrochorume, por meio de ensaios com sistemas testes in vitro e in vivo. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro - SP, p. 37. 2016.

KEMERICH, P; D; da C. et al. Variação Espacial da Qualidade da Água Subterrânea em Área Ocupada por Cemitério tipo Parque Jardim. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 9, n. 3, 2012.

KEMERICH, P. D. da C. et al. Influência dos cemitérios na contaminação da água subterrânea em Santa Maria - RS. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 24, n. 1, 2010, p. 129-14

LANG, Adriana A.; GIMENEZ, Sonia M. N. Elementos químicos encontrados no corpo humano: um novo enfoque da tabela periódica. Universidade Estadual de Londrina, 2008

LEITE, E. B. Análise físico-química e bacteriológica da água de poços localizados próximo ao cemitério da comunidade de Santana, Ilha de Maré, Salvador - BA. Candombá- Revista Virtual, v. 5, p. 132-148, 2009.

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 2 ed. São Paulo: Átomo, 2008

MATOS, B.A. Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismo no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo. 2001. 113p. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2001.

MATOS, A. T. D.; GARIGLIO, H. A. D. A.; MONACO, P. A. V. L. Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 743–749, 2013.

MARTINS, E. Análise dos processos de decomposição e sucessão ecológica em carcaças de suíno (*Sus scrofa* L.) mortos por disparo de arma de fogo e overdose de cocaína e protocolo de procedimentos diante de corpo de delito. Botucatu, 2009. 82p. Dissertação (Mestrado em Biologia Geral)- Intitulo de Biociência, UNESP, 2009.

BRASIL. Resolução Conama nº 368 de 2006. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2006.

MORGAN, D. M. L. Methods in molecular biology. In: MORGAN, D. (Ed.), Polyamine protocols. Human Press Inc., Totowa, NJ, p. 1–30, 1998.

MIGLIORINI, R.B. Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos: estudo do cemitério Vila Formosa na bacia Sedimentar de São Paulo, 1994. 74p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994

NETO, J. A. F.; JÚNIOR, I. M. P.; SILVA, G. S. D. Necrochorume: conceitos, leis e influências. Ciências exatas e tecnológicas, Alagoas, v. 5, p. 141-158, 2019.

NIELSEN, D. R.; VAN GENUCHTEN, M. T.; BIGGAR, J. W. Water flow and solute transport processes in the unsaturated zone. Water Resources Research, Washington, v. 22, n. 9, p. 89s-108s, 1986.

PEREIRA, D. C. Estudo dos efeitos biológicos da poliamina putrescina em diferentes organismos- teste. Rio claro, 2017, p.163. Universidade Estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Instituto de Biociências, Rio Claro - SP, 2017.

QUEIROZ, P.I.B.; Métodos quantitativos para transporte de contaminantes; Notas de aula do curso de Fenômenos de Transporte, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil; 2003.

RANGONI, C. S. Cemitério Municipal de São Francisco: visão crítica sobre as condições das necrópole de Salvador. Candombá - Revista Virtual. v. 10, n. 1, Jan-Dez 2014.

ROMANÓ, E.N.L. Cemitérios: passivo ambiental e medidas preventivas e mitigadoras, 2001.

SEILER, N.; RAUL, F. Polyamines and intestinal tract. *Crit Rev Clin Lab Sci*, v. 44, p. 365–411, 2007.

SENGIK, E. S. Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas. *Núcleo Pluridisciplinar de pesquisa e estudo da cadeia produtiva o leite*, p. 22, 2003.

SILVA, B.C.P.de.; VIDAL, D.M.; QUEIROZ, P.I.B.de. - X ENCITA–Encontro de Iniciação Científica e, 2004

SILVA, L.M. Os cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres, *Saneamento ambiental*, 2000, v. 71. p.41-45

THOMMES, M. et al.. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report), IUPAC & De Gruyter, 2015.

TIBBETT, M.; CARTER, D. O .; *Análise de solo emTafonomia Forense: Química e Biológica Effects of Buried Human Remains*, CRC Press:Nova York, 2008.

TRESSOLDI, M. Contribuição e caracterização de maciços rochosos fraturados visando à proposição de modelos para fins hidro geológicos e hidro geotécnicos. 168p dissertação (Mestrado)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.1991

ÜÇISIK, AS, RUSHBROOK ,P. The impacto f cemeteies onthe environment and public heath : na introductory briefing.Denmark: WHO; 1998

XAVIER, F. V. et al. Emprego da sondagem elétrica vertical integrada às análises químicas e microbiológicas no diagnóstico preliminar da contaminação do solo e da água subterrânea no cemitério municipal da cidade de Rio Claro (SP). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, p. 1-13, 2018.

ZANATO, T. R. Contribuição do método da eletrorresistividade na investigação da possível contaminação por necrochorume em aquíferos fraturados no cemitério Santo Antônio, 2016. 45p. Monografia (Bacharelado em Geofísica) - Universidade Federal do Pampa, GEOFÍSICA, 2016.

YONG, R. N.; MOHAMED, A. M. O.; WARKENTIN, B. P. *Principles of Contaminant Transport in Soils*. Elsevier, Amsterdam, 1992

ŻYCHOWSKI, J. Impact of cemeteries on groundwater chemistry. *Catena.*, v.93. 29–37, 2012, Poland.